

# **APLIKASI KATALIS DALAM MENGKONVERSI LIMBAH PLASTIK MENJADI ENERGI**

## **(THE APPLICATION OF CATALYST FOR CONVERTING PLASTIC WASTE AS AN ENERGY SOURCE)**

Bumiarto Nugroho Jati dan Rahyani Ermawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK), Kementerian Perindustrian RI  
Jl. Balai Kimia No 1, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta

E-mail: [ermakyoto@yahoo.com](mailto:ermakyoto@yahoo.com)

### **ABSTRAK**

Sampai dengan saat ini sampah masih menjadi masalah utama di negara-negara di dunia, termasuk Indonesia. Dari semua jenis sampah yang ada saat ini, sampah yang berasal dari plastik ternyata jumlahnya cukup besar. Karena dianggap lebih praktis dan ekonomis, hampir semua aktifitas baik rumah tangga, industri maupun perdagangan selalu menggunakan plastik. Padahal dibalik besarnya fungsi dan manfaatnya juga terdapat bahaya yang sangat besar pula. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengurangi limbah plastik tersebut. Salah satunya adalah mengkonversi limbah plastik menjadi sumber energi. Para peneliti di seluruh dunia telah membuktikan keberhasilan usaha tersebut. Pada kajian ini, dipaparkan beberapa metode yang telah diteliti oleh para peneliti dalam mengkonversi limbah plastik, diantaranya adalah pirolisis (*thermal cracking*), *hydrocracking* dan hidroisomerisasi. Selain metode proses, jenis katalis yang digunakan dalam proses mempengaruhi tinggi rendahnya komposisi produk yang dihasilkan. Dengan dikembangkannya metode tersebut, limbah plastik yang selama ini masih menjadi permasalahan serius di masyarakat dapat menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi kepentingan manusia dan lingkungan.

Kata kunci : Limbah plastik, Konversi, Katalis, Pirolisis

### **ABSTRACT**

*Up to now, garbage has become the main environment problem in many countries in the world, including Indonesia. There are many kinds of garbage, and in fact plastic waste has big enough contribution. Considering that plastic is more practical in using and economical in price, it is used widely in almost all activities such as in households, industry, and commercial. Even though plastic has so many functions and advantages, in fact it can also potential to be harmful to our lives. Many efforts have been done by researchers to reduce or eliminate plastic waste. One of those efforts is converting plastic waste to energy source. Researchers in many countries have proven the theory. In this review, some of the methods to convert plastic waste to energy that have been done by the researchers will be reviewed. Some of those are pyrolysis (thermal cracking), hydro-cracking, and hydro-isomerization. Besides the process methods, the type of catalyst used in the process will influence product composition. The improvement of the methods, however, has promising result. Plastic waste which is still consider as a serious problem in many countries, can be converted to products that useful to human life and environment friendly.*

*Key words : Plastic waste, Converting, Catalyst, Pyrolysis*

### **PENDAHULUAN**

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dunia, konsumsi akan barang-barang berbahan plastik semakin meningkat. Menurut data statistik, kebutuhan plastik di Eropa Barat 100 kg per orang per tahun (APME, 2004), sedangkan

di Jepang, jumlah limbah plastik mencapai lebih dari 10 juta ton per tahun (Nishino, *et.al.*, 2003). Meningkatnya jumlah permintaan plastik disebabkan karena plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Barang

berbahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator, dan proses pembuatannya lebih murah. Plastik yang beredar di sekitar kita, secara komersial dikelompokkan berdasarkan bahan penyusunnya. Jenis-jenis plastik tersebut adalah polietilen (PE), *poly vinyl chloride* (PVC), polipropilena (PP), *poly methyl methacrylate* (PMMA), *acrylo nitrile butadiene styrene* (ABS), poliamida (PA), poliester, dan *poly ethylene terephthalate* (PET) (APME, 2004)

Distribusi plastik yang terdapat di masyarakat banyak berasal dari bahan *polyethylene*. *Polyethylene* sendiri dibagi menjadi dua, yaitu *High Density Poly Ethylene* (HDPE) dan *Low Density Poly Ethylene* (LDPE). HDPE banyak digunakan sebagai botol minuman, sedangkan LDPE digunakan sebagai kantong plastik.

Namun dibalik semua kelebihanannya, bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi (Gambar 1). Barang berbahan plastik tidak dapat membusuk, tidak dapat menyerap air, juga tidak dapat berkarat, dan pada akhirnya tidak dapat didegradasi dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan. Limbah plastik yang ada pada saat ini umumnya hanya dibuang (*disposal*), *landfill*, dibakar atau didaur ulang (*recycle*). Proses tersebut belum menyelesaikan semua permasalahan limbah plastik.

Maka dari itu, pada *review* ini akan dibahas cara lain untuk mengatasi permasalahan yang ada tersebut. Apabila kita lihat dari bahan dasarnya, limbah plastik berpotensi mempunyai nilai ekonomis sebagai sumber bahan baku energi jika diolah dengan cara yang tepat, karena plastik dapat menghasilkan hidrokarbon yang merupakan bahan dasar energi.



Gambar 1. Tumpukan plastik

## TEORI

### Proses Konversi Limbah Plastik

Seperti yang kita ketahui, limbah plastik menjadi ancaman serius bagi lingkungan tempat kita tinggal. Salah satu upaya baru yang telah dilakukan oleh banyak peneliti di dunia peneliti dalam meminimalisasi jumlah sampah plastik adalah dengan mengubah limbah tersebut menjadi sumber energi baru. Pada penelitian tersebut, plastik dipanaskan dengan menggunakan metode pirolisis.

Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi tersebut menghasilkan senyawa hidrokarbon cair mulai dari  $C_1$  hingga  $C_4$ , dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin serta gas yang aman bagi lingkungan. Adapun keuntungan dari metode pirolisis untuk pembakaran limbah plastik yaitu beroperasi tanpa membutuhkan udara atau campuran hidrogen dan tidak memerlukan tekanan tinggi, HCl yang terbentuk sebagai sebuah produk dapat diperoleh kembali sebagai bahan baku, polutan-polutan dan pengotor menjadi terkonsentrasi sebagai residu padatan, dan selanjutnya karena pirolisis dilakukan pada sistem tertutup maka tidak ada polutan yang keluar. Banyaknya plastik yang terurai sekitar 60%, suatu jumlah yang cukup banyak (Miller, *et. al.*, 2005). Struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair tersebut memungkinkannya untuk diolah menjadi minyak pelumas berkualitas tinggi. Hal ini disebabkan karena sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastik mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas (Miller, *et. al.*, 2005).

Pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis limbah plastik menjadi minyak pelumas dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidroisomerisasi dan *hydrocracking*. Hidroisomerisasi merupakan proses yang menggunakan katalis khusus yang berfungsi menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi, tingkat titik beku yang rendah dan menjadikan pelumas dasar yang *iso-paraffinik*. Sedangkan pada *hydrocracking*, hasil dari proses pirolisis dimasukkan ke dalam tungku penyulingan pada tekanan atmosfer dan kemudian divakum untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan dari proses awal. Proses ini berguna dalam mengurangi atau menghilangkan aromatik dan komponen polar yang dihasilkan dari proses pirolisis.

Proses pengolahan limbah plastik menjadi sumber energi dapat berjalan dengan baik apabila dalam prosesnya menggunakan katalis. Katalis didefinisikan sebagai suatu senyawa kimia yang dapat mengarahkan sekaligus meningkatkan kinetika suatu reaksi, akan tetapi senyawa tersebut (katalis) tidak mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi, dan tidak mengubah kedudukan kesetimbangan kimia dari reaksi tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengolahan Limbah Plastik Tanpa Menggunakan Katalis

#### Pengolahan Limbah Plastik Polietilen (PE)

Penelitian dalam mengubah limbah plastik menjadi minyak pelumas telah dibuktikan oleh Stephen J. Miller dkk. (2005) dalam publikasi penelitiannya pada Jurnal *American Chemical Society*. Miller memanaskan plastik polietilen menggunakan metode pirolisis. Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi (800 °C hingga 1000 °C) ini ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Selain gas, ketika dipanaskan, polietilen juga membentuk suatu senyawa hidrokarbon cair mulai dari C<sub>1</sub> hingga C<sub>4</sub>, dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin yang memiliki bentuk mirip wax (lilin). Banyaknya plastik yang terurai adalah sekitar 60 %. Laju degradasi konversi polietilen menjadi hidro-karbon cair telah diteliti oleh Lee *et.al.* (2003). Struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair tersebut memungkinkannya untuk diolah menjadi minyak pelumas berkualitas tinggi. Hal ini disebabkan karena sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastik mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas (Miller, *et.al.*, 2005).

Pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis limbah plastik menjadi minyak pelumas dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidroisomerisasi dan *hydrocracking*. Hidroisomerisasi merupakan proses yang menggunakan katalis khusus yang berfungsi menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi, tingkat titik beku yang rendah dan menjadikan pelumas dasar yang *iso-paraffinik*. Sedangkan pada *hydrocracking*, hasil dari proses pirolisis dimasukkan ke dalam tungku penyulingan pada tekanan atmosfer dan

kemudian divakum untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan dari proses awal. Proses ini berguna dalam mengurangi atau menghilangkan aromatik dan komponen polar yang dihasilkan dari proses pirolisis. Pada penelitian Miller (2005), pengubahan hidrokarbon cair menjadi minyak pelumas dilakukan dengan menggunakan metode hidroisomerisasi.

Usaha pembuatan minyak sintetis dari senyawa hidrokarbon cair bukanlah suatu hal yang baru. Pada 1990-an, perusahaan Chevron telah mencoba mengubah senyawa hidrokarbon cair menjadi bahan bakar sintetis untuk tujuan komersial. Bahan baku yg digunakan untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon cair berasal dari gas alam (umumnya gas metana) melalui proses katalitik yang dikenal dengan proses Fischer-Tropsch. Pada proses ini, gas metana diubah menjadi gas sintetis (*syngas*), yaitu campuran antara gas hidrogen dan karbonmonoksida, dengan bantuan besi atau kobalt sebagai katalis. Selanjutnya, *syngas* ini diubah menjadi senyawa hidrokarbon cair, untuk kemudian diolah menggunakan proses *hydrocracking* menjadi bahan bakar dan produk minyak bumi lainnya, termasuk minyak pelumas. Senyawa hidrokarbon cair hasil pengubahan dari *syngas* mempunyai sifat kimia yang sama dengan *polyethylene*.

#### Pengolahan Limbah Plastik *Polyethylene* dan *Polystyrene*

Walendziewski, *et.al.* (2001) meneliti penguraian limbah *polyethylene* dan *polystyrene* dengan suhu tinggi atau dengan bantuan katalis dan penambahan hidrogen pada *autoclave* tertutup. Penelitian ini membandingkan fraksi cairan yang didapat dengan menggunakan katalis *hydrocracking*, diidentifikasi memiliki range titik didih rendah dan kandungan senyawa hidrokarbon tidak jenuh jika dibandingkan dengan fraksi cairan yang didapat dengan menggunakan katalis peruraian atau thermal cracking. Hasil analisa menunjukkan suhu optimum penguraian polyolefin secara termal adalah 410 °C hingga 430 °C.

#### Pengolahan Limbah Plastik *Polypropylene*

Proses pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis menjadi minyak pelumas dengan metode *hydrocracking* juga telah berhasil dilakukan oleh Suat Ucar, *et. al.* (2001). Mereka meneliti proses perubahan LDPE, PP, PVC/LDPE dan PVC/PP dengan menggunakan

Tabel 1. Perbandingan Distribusi Hasil Produk Pembakaran Limbah Plastik pada Suhu Pembakaran dan Penggunaan Katalis (Keane, et.al. 2007).

	T = 350 °C	T = 440 °C
<b>Non-katalis</b>		
Distribusi produk (% berat)		
Solid	34,6	24,4
Liquid	3,2	4,2
Gas	62,2	71,4
Cl distribusi (ppm)		
Solid	427	1242
Liquid	213000	67800
C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> (mole %)	2,7	5,1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,6	1,3
<b>Katalis (+Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>		
Distribusi produk (%berat)		
Solid	34,7	22,9
Liquid	4,2	9,4
Gas	61,1	97,7
Cl distribusi (ppm)		
Solid	1485	2994
Liquid	378	182
C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> (mole %)	3,9	7,9
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,4	21,2

sistem *hydrocracking* pada *refinery*. Pada percobaan ini, *LDPE* atau *PP* ditambahkan pada *vacuum gas oil (VGO)*. Campuran tersebut mengalami *cracking* dengan menggunakan katalis *HZSM – 5*, Cobalt dengan karbon aktif (*Co-Ac*) dan *DHC-8* (katalis komersil silika-alumina) pada *batch autoclave* dengan suhu 425 °C hingga 450 °C. Pada campuran *PVC/PP/VGO* atau *PVC/PE/VGO*, campuran terlebih dahulu dideklorinasi pada suhu 350°C sebelum di-*hydrocracking*. Penambahan polimer pada *VGO* mempengaruhi penguraian *VGO* yang berakibat pada penurunan hasil gas dan kenaikan pada hasil cairan.

### Pengolahan Limbah Plastik dengan Menggunakan Katalis

Pada proses konversi limbah plastik menjadi sumber energi, katalis memegang peranan penting dalam kualitas hidrokarbon yang dihasilkan. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran, katalis juga berperan untuk menurunkan konsentrasi khlor yang ada pada cairan yang terbentuk sebagai hasil produk pembakaran (Sakata, et.al., 1999). Katalis yang digunakan pada umumnya adalah *zeolite*,

*polysilicate component*, *pseudoboehmite component* dan *clay component* (Aguado et.al., 2009).

Dari Tabel 1 terlihat bahwa penggunaan katalis akan menurunkan konsentrasi Cl pada fraksi cair dan menaikkan phase konsentrasi gas hidrokarbon C<sub>1</sub> hingga C<sub>4</sub>.

Penelitian mengenai pengaruh katalis terhadap proses konversi limbah plastik menjadi sumber energi dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya adalah Sakata, et.al. (1996) yang mempelajari degradasi katalitik dari *PP* dan *PE* oleh katalis silika-alumina pada reaktor *semi batch*. Berdasarkan penelitian tersebut, ternyata silika-alumina efektif dalam meningkatkan laju degradasi dan produksi minyak pelumas. Mereka juga mempelajari pengaruh jenis katalis lainnya terhadap degradasi polimer, seperti zeolit yang digunakan sebagai katalis pada proses degradasi *PP* & *PE* yang ternyata menghasilkan produk cair lebih rendah dibandingkan dengan gas (Uddin et.al., 1997). Sedangkan Aguado, et.al. (2000) meneliti pengaruh zeolit beta pada degradasi *PP*, *LDPE* dan *HDPE* pada suhu 400 °C didalam reaktor batch. Hasilnya menunjukkan bahwa degradasi *HDPE* menghasilkan selektifitas tinggi untuk produk C<sub>5</sub> hingga C<sub>12</sub> (70 %berat), sedangkan untuk penguraian *LDPE* dan *PP*, selektifitas menjadi gasoline berkurang (sekitar 64 %berat) tetapi proporsi untuk produk C<sub>1</sub> hingga C<sub>4</sub> lebih tinggi. Aktivitas zeolite dalam degradasi polimer bervariasi tergantung perbedaan struktur kimia dan komposisinya (Mordi, et. al., 1994).

Nishino, et.al. (2003) meneliti degradasi katalitik dengan menggunakan *H-gallosilicates* yang dilakukan di reaktor skala *bench* dengan bahan baku diumpankan secara semi kontinyu. Bahan baku yang digunakan adalah poli-olefin dan bahan plastik lainnya yang berbentuk pelet yaitu *LDPE*, *linear LDPE*, *HDPE* dan *PP*. Hasil menunjukkan bahwa komposisi propilen, dan iso butan meningkat. Lee, et. al. (2003) meneliti tentang degradasi polietilen (*HDPE*) dan polistiren (*PS*) dengan bantuan katalis *fluid catalytic cracking (FCC)* beroperasi pada suhu 400 °C. Dari percobaan diperoleh bahwa gasoline yang terbentuk dari *HDPE* 86% dan 98% berasal dari *PS*.

Dilihat dari tingginya harga minyak dunia dalam beberapa waktu terakhir yang meroket hampir mencapai 100 dolar per barrel, sehingga akan berdampak terhadap kenaikan besarnya subsidi yang dilakukan pemerintah terhadap BBM. Salah satu program pemerintah untuk mengurangi ketergantungan terhadap

BBM adalah diversifikasi energi. Berdasarkan pemanfaatannya, salah satu bahan bakar yang dapat menggantikan BBM sekarang ini secara langsung adalah biofuel (bahan bakar nabati). Dalam hal ini, biofuel dibatasi pada bio diesel, bioerosene dan bioetanol. Walaupun Landasan Hukum pengembangan *biofuel* di Indonesia ditandai dengan Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 Mengenai Bahan Bakar Nabati dan Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 mengenai Kebijakan Pemakaian Bahan Bakar Nabati sebesar 5% pada tahun 2025, namun kenyataannya, proses pemakaian *biofuel* secara nyata masih memerlukan jangka waktu yang lama untuk sampai dihasilkannya produk siap pakai.

## KESIMPULAN

Ternyata dengan memanfaatkan limbah plastik yang ada, seperti yang tersebut di atas, banyaknya plastik yang akan terurai sekitar 60% menjadi hidrokarbon cair (Miller *et.al.*, 2005). Tingginya kualitas minyak pelumas yang dihasilkan dari limbah plastik pada penelitian ini menandakan bahwa penelitian ini cukup berhasil dan sangat berguna bagi kelangsungan energi dan bahan bakar dunia di masa yang akan datang. Untuk itu Indonesia sewajarnya mempelajari atau menggiatkan penelitian yang memanfaatkan limbah plastik yang ada, sebelum limbah plastik menjadi masalah yang serius di masa sekarang dan masa yang akan datang.

Untuk itu, tahap pertama pemerintah wajib menggalakkan disiplin masyarakat dalam pemisahan sampah saat pembuangan sampah, misalnya sampah organik, sampah kaleng bekas dan sampah plastik. Hal ini dilakukan untuk lebih mempermudah dalam pengolahan selanjutnya. Sedangkan, pada bidang penelitian, para peneliti diharapkan menemukan inovasi dan terobosan baru dalam peningkatan hasil konversi limbah plastik ini sehingga hasil yang diinginkan lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aguado J, Serrano D.P, Escola J.M, Garagorri E, and Fernandez J. A. 2000. *Catalytic Conversion Polyolefins Into Fuels Over Zeolite Beta*, Polym. Degrad. Stab., 70 (1) 97.
- [2] Aguado J, Serrano D.P, San Miguel G, Escola J. M and Rodriguez J. M. 2006. Catalytic Activity of Zeolitic and Mesostructured Catalysts in The Cracking of Pure and Waste Polyolefins, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 78 (2007); 153 – 161
- [3] Anonim. 2004. Summary Report : *An Analysis of Plastic Consumption and Recovery in Europe 2002 & 2003*, Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME), Brussel, Belgium
- [4] Keane, M.A., 2007, *Catalytic Conversion of Waste Plastics : Focus on Waste PVC*, J. Chem. Technol. Biotechnol., 82, 787-795
- [5] Lee K.H, Shin D.H and Seo Y.H. 2003. *Liquid-Phase Catalytic Degradation of Mixture of Waste High Density Polyethylene and Polystyrene Over Spent FCC Catalyst, Effect of Mixing Proportions of Reactants*, Polym. Degrad. Stab., 84, 123-127
- [6] Miller S. J, Shah N and Huffman G.P. 2005. Conversion of Waste Plastic to Lubrican Base Oil. *American Chemical Society*, 19 (4), 1580-1586
- [7] Mordi R.C, Fields R Dwyer J. 1994. Thermolysis of Low Density Polyethylene Catalysed by Zeolites, *J. Anal. Appl. Pyrol.* (29) 45
- [8] Nishino J, Itoh M, Ishinomori T, Kubota N and Uemichi Y. 2003. Development of a Catalytic Cracking Process for Converting Waste Plastics to Petrochemicals, *J. Mater. Cycle. Waste. Manag.*, 5, 89 – 93
- [9] Sakata Y, Uddin M.A, Koizumi K and Murata K. 1996. *Catalytic Degradation of Polypropylene into Liquid Hydrocarbons Using Silica-Alumina Catalyst*, Chem. Lett, 245-246.
- [10] Sakata Y, Uddin M. A and Muto A. 1999. Degradation of Polyethylene and Polypropylene Into Fuel Oil by Using Solid Acid and Non-Acid Catalysts, *J. Anal. Appl. Pyrol*, Vol. 51, No. 1–2, p. 135–155
- [11] Satrio A. M. 2008. *Modul – 1.05 : Fluidisasi*. Laboratorium Operasi Teknik Kimia. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon
- [12] Ucar S, Karagoz S, Karayildirim T and Yanik J. 2001. *Conversion of Polymers to Fuel in A refinery Stream*. Polym. Degrad. Stab., 75 (2002), 161 – 171

- [13] Uddin A, Koizumi K and Sakata Y. 1997.  
Thermal and Catalytic Degradation of  
Structurally Different Types of  
Polyethylene Into Fuel Oil, *Polym.  
Degrad. Stab.*, 56, 37.
- [14] Walendziewski J and Steininger M. 2001.  
*Thermal and Catalytic Conversion of  
Waste Polyolefins*, *Catalysis Today*,  
65 (2001), 323 – 330